



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1806-7093

Dezembro, 2004

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 16

Distribuição espacial das necessidades hídricas das culturas do feijão, milho e soja na bacia do rio Tibaji, PR

Alexandre Bryan Heinemann
Gerrit Hoogenboom
Rogério T. de Faria

Juiz de Fora, MG
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Gado de Leite

Rua Eugênio do Nascimento, 610 – Bairro Dom Bosco

36038-330 Juiz de Fora – MG

Fone: (32) 3249-4700

Fax: (32) 3249-4751

Home page: <http://www.cnp.gl.embrapa.br>

E-mail: sac@cnp.gl.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Pedro Braga Arcuri

Secretária-Executiva: Inês Maria Rodrigues

Membros: Aloísio Torres de Campos, Angela de Fátima A. Oliveira, Antônio Carlos Cóser, Carlos Eugênio Martins, Edna Froeder Arcuri, Jackson Silva e Oliveira, João César de Resende, John Furlong, Marlice Teixeira Ribeiro e Wanderlei Ferreira de Sá

Supervisor editorial: Angela de Fátima Araújo Oliveira

Editoração eletrônica e tratamento de ilustrações: Amaro Alves da Silva

Revisor de texto: Newton Luís de Almeida

Normalização bibliográfica: Inês Maria Rodrigues

Ilustração da capa: Raquel da Silva Fontinelli (estagiária)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.

Embrapa Gado de Leite

Heinemann, Alexandre Bryan

Distribuição espacial das necessidades hídricas das culturas do feijão, milho e soja na bacia do rio Tibaji, PR / Alexandre Bryan
Heinemann, Gerrit Hoogenboom, Rogério T. de Faria. – Juiz de Fora :
Embrapa Gado de Leite, 2004.

31 p. (Embrapa Gado de Leite. Boletim de Pesquisa, 16).

ISSN 1806-7093

1. Modelos de crescimento. 2. DSSAT. 3. SIG. 4. Feijão. 5. Soja.
6. Milho. I. Hoogenboom, Gerrit. II. Faria, Rogério T. de. III. Título. IV.
Série.

CDD 633

© Embrapa 2004

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	8
Resultados e Discussão	19
Conclusões	25
Referências bibliográficas	26

Distribuição espacial das necessidades hídricas das culturas do feijão, milho e soja na bacia do rio Tibaji, PR

Alexandre Bryan Heinemann¹

Gerrit Hoogenboom²

Rogério T. de Faria³

Resumo

A competição pelo uso dos recursos hídricos disponíveis requer a definição das estratégias apropriadas para o planejamento e o manejo das áreas irrigadas. Para se atingir um planejamento efetivo, é indispensável obter informações sobre as necessidades hídricas, quantidade anual de água utilizada para irrigação, escoamento superficial e nitrogênio lixiviado em função da cultura, tipo de solo e condições climáticas no âmbito regional. Combinando-se modelos de crescimento com sistemas de informação geográfica (SIG), pode-se ampliar a capacidade de aplicação dos modelos de crescimento no âmbito regional. Neste estudo, foram determinadas as necessidades hídricas de culturas, quantidade anual de água utilizada para irrigação, escoamento superficial e nitrogênio lixiviado para as culturas mais importantes da bacia do rio Tibaji, no Estado do Paraná, utilizando-se o sistema de suporte à decisão DSSAT (versão 3.5, 98.0) e o SIG AEGIS/WIN. Admitiu-se que os agricultores de um mesmo município utilizam práticas de manejo semelhantes. Para se obter as estimativas das necessidades hídricas nas condições locais, foram utilizados dados de clima de estações climáticas localizadas nos municípios e/ou estações climáticas mais

¹ Engenheiro Agrônomo – D. Sc., Embrapa Gado de Leite – Núcleo Centro-Oeste/Embrapa Arroz e Feijão, Rod. Goiânia-Nova Veneza, km12, Sto Antonio de Goiás, GO. CP 179, CEP 75375-000 – alexbh@cnpaf.embrapa.br.

² Pesquisador – Ph.D., Department of Biological and Agricultural Engineering, The University of Georgia, Griffin, GA 30223, USA.

³ Pesquisador – Ph.D., Departamento de Irrigação, Instituto Agronômico do Paraná (Iapar), Londrina, PR

próximas. Um fator de ponderação, baseado na proporção do tipo de solo e área cultivada, foi usado para determinar a quantidade total de água utilizada na irrigação, escoamento superficial e nitrogênio lixiviado para cada município da bacia do rio Tibagi. Os resultados estimados pelos modelos, incluindo necessidades hídricas, escoamento superficial e nitrogênio lixiviado, foram analisados utilizando-se métodos de análise espacial. Isto permitiu mostrar mapas temáticos considerando essas variáveis para serem relacionadas com o manejo de irrigação e planejamento. As quantidades máximas anuais de água utilizada para irrigação, escoamento superficial e nitrogênio lixiviado foram, respectivamente, 22.969 m³ ano⁻¹, 31.152 m³ ano⁻¹ e 1.488 t ano⁻¹, para o município de Reserva.

Palavras Chaves: modelos de crescimento, DSSAT, SIG, feijão, soja e milho.

Abstract

Due to the competitive use of available water resources, it is crucial to define appropriate strategies for planning and management of irrigated farmland. To achieve such a goal, information is required on crop water requirements, irrigation withdrawals, runoff and nitrogen leaching as a function of crop, soil type and weather conditions at a regional level. Interfacing crop models with a Geographic Information System (GIS) extends the capabilities of the crop models to a regional level. In this study DSSAT (version 3.5, 98.0) crop modeling system and the GIS system AEGIS/WIN were used to assess irrigation requirements, runoff and nitrogen leaching for the most important crops in the Tibagi River basin, located in the State of Paraná, Brazil. It was assumed that farmers within the same county use similar management practices. To achieve representative estimates weather data were obtained from stations located within each county or from the nearest weather station. A weighting factor based on the proportion of soil type and crop acreage was used to determine the mean total annual irrigation withdrawal, annual runoff and nitrogen leaching for each county in the river basin. Model predicted outputs, including irrigation requirements, runoff and nitrogen leached for different soil types in each county, were analyzed using spatial analysis methods. This allowed displaying thematic maps of those variables to be related with irrigation management and planning. The maximum annual irrigation withdrawal, nitrogen leaching and runoff were, respectively, 22.969 m³ year⁻¹, 1.488 t year⁻¹ and 31.152 m³ year⁻¹.

Keywords: simulation model, DSSAT, GIS, dry bean, soybean and maize.

Introdução

Os agricultores do Estado do Paraná têm vivenciado freqüentes frustrações na produtividade de culturas devido ao déficit hídrico causado pelas incertezas climáticas durante o ciclo das culturas. O uso de irrigação suplementar apresenta diversas vantagens, como aumentar a produtividade e decrescer sua variabilidade interanual em relação às culturas não-irrigadas. O aumento e estabilização da produção regional podem contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população por proporcionarem alimentos mais baratos, incremento na produção industrial e geração de empregos. Entretanto, o aumento da área irrigada e o conseqüente aumento no uso dos recursos hídricos competem com outros setores usuários dos recursos, podendo resultar em seca de rios e/ou reservatórios e lençóis freáticos. Há a necessidade de encontrar o equilíbrio entre o avanço do desenvolvimento econômico e a conservação dos recursos naturais. Para isso é importante definir as estratégias apropriadas ao planejamento e ao manejo dos recursos hídricos para o setor agrícola. O uso eficiente da água nos sistemas de produção irrigados é uma das principais necessidades (Smith, 2000). Nesses sistemas, é necessário priorizar a redução das perdas de água e tornar o manejo de irrigação mais eficiente. Estima-se que somente 45% da água destinada à irrigação seja utilizada pelas culturas e que 25% são perdidos em aplicações ineficientes no campo (FAO, 1994). O escoamento superficial, contendo pesticidas provenientes das áreas agrícolas, é um dos maiores responsáveis pelo deterioramento da saúde das populações rurais em países em desenvolvimento (Lal, 2000).

O planejamento racional da irrigação em uma determinada região requer informações sobre as necessidades hídricas, quantidade de água anual utilizada na irrigação, escoamento superficial e nitrogênio lixiviado em função da cultura, do tipo de solo e das condições climáticas. Existem diversas técnicas para se estimar as necessidades hídricas das culturas, como as citadas por Burman et al. (1983), Pereira et al. (1996) e Souza e Pereira (1999). Neste estudo, foram utilizados modelos de crescimento de culturas do sistema de suporte à decisão "Decision Support System for Agrotechnology Transfer" (DSSAT) (Tsuji et al., 1994). Esses modelos de crescimento têm sido avaliados em diversas regiões do mundo e utilizados com sucesso em diferentes aplicações, tais como: na determinação de necessidades hídricas das culturas baseando-se em dados climáticos históricos (Hook et al., 1998; Alexandrov & Hoogenboom, 1999); no planejamento de irrigação (MacRobert & Savage, 1998); na otimização da capacidade de aplicação de sistemas de irrigação (Heinemann et al., 2001; Heinemann & Hoogenboom, 2000), no estudo da

eficiência do uso e lixiviação de nitrogênio (Garrison et al., 1999; Jagtap et al., 1999) e também no estudo dos impactos potenciais de erros das observações de precipitação nos modelos de simulação de crescimento, desenvolvimento e rendimento de culturas (Heinemann et al., 2002). Esses modelos são utilizados, principalmente, para a aplicação em um determinado local devido às limitações na disponibilidade de dados. Combinando-se os modelos de simulação com o SIG, aumenta-se o espectro de aplicabilidade dos modelos para o planejamento regional. O SIG é um sistema utilizado para a aquisição, o armazenamento e a exibição de dados geográficos. Devido ao aumento na necessidade de conservação dos recursos naturais, como solo e água, é essencial o manejo desses recursos pelo uso de SIG, que é uma poderosa ferramenta à disposição dos tomadores de decisões (Maracchi et al., 2000). Diversos pesquisadores têm combinado os modelos de crescimento do sistema DSSAT com o SIG para analisar a produtividade regional e os efeitos das mudanças climáticas em escala regional (Beinroth et al., 1998; Georgiev et al., 1998; Lal et al., 1993). Para combinar os modelos do DSSAT com o sistema de mapeamento geográfico ArcView (ESRI, 1998), foi utilizada a interface AEGIS/WIN (Agricultural and Environmental Geographic Information System for Windows). O AEGIS/WIN é escrito em AVENUE, uma linguagem orientada por objeto (Engel et al., 1997; Engel et al., 1999) e que processa os dados obtidos por meio de modelos no SIG, ilustrando os seus resultados (Hartkamp et al., 1999a).

Este estudo teve como objetivos: a) determinar as necessidades hídricas para as principais culturas da bacia hidrográfica do rio Tibagi, incluindo o milho, o feijão e a soja; b) estimar a quantidade anual de água utilizada para a irrigação, o escoamento superficial e o nitrogênio lixiviado para cada município da bacia do rio Tibagi; e c) avaliar o desempenho dos modelos de crescimento e o SIG na identificação de áreas potenciais para o uso de irrigação e na determinação de regiões suscetíveis ao escoamento superficial e à lixiviação de nitrogênio.

Material e Métodos

Descrição da área de estudo

A bacia do rio Tibagi está localizada no Estado do Paraná (Figura 1), entre as latitudes 22° 31' S e 26° 43' S e longitudes 50° 20' O e 51° 00' O, e é composta por 43 municípios. As principais culturas são o milho, a soja e o feijão comum.



Fig. 1. Estado do Paraná e a Bacia do rio Tibagi.

No Paraná o milho é semeado entre o fim de agosto e início de novembro, sendo outubro a época de semeadura recomendada para a bacia do rio Tibagi (Zoneamento Agrícola, 2000). Para cultivares de soja de ciclo curto, os maiores rendimentos são obtidos em semeaduras em outubro e novembro (Queiroz et al., 1998). Na parte sul da bacia do rio Tibagi, vários agricultores preferem semear a soja entre 3 de novembro e 5 de dezembro. Entretanto, geralmente a semeadura é iniciada em meados de outubro (Fee, 1998). Na bacia do rio Tibagi, o feijão é cultivado em dois diferentes períodos, no verão e no inverno/primavera. Na parte norte da bacia, o feijão comum cultivado no inverno/primavera, denominado neste estudo de feijão norte, é semeado em meados de agosto. Na parte sul, o feijão comum cultivado no inverno/primavera, denominado neste estudo de feijão sul, é semeado no final de setembro e começo de outubro (Oliveira e Villa Nova, 1996; Faria et al., 1997; Zoneamento Agrícola, 2000). O feijão cultivado no verão, denominado feijão da seca, é comumente semeado em janeiro.

Para realizar este estudo foram considerados os dados do ano agrícola de 1998/1999 que foram levantados pelo DERAL (DERAL, 2000) para os municípios da bacia do rio Tibagi, correspondentes à área plantada e ao rendimento médio por hectare dos anos agrícolas de 1995/1996, 1996/1997 e 1997/1998 para as culturas de milho, soja, feijão da seca, feijão norte e feijão sul de cada município da bacia (Tabela 1). Esses dados foram também utilizados para a calibração dos coeficientes genéticos. Como as informações sobre as áreas irrigadas por município não são disponíveis, admitiu-se que toda a área cultivada é irrigada. Esse fato não afeta a determinação das necessidades hídricas das culturas e possibilita fornecer aos tomadores de decisão informações onde se deve implantar técnicas de conservação do solo e da água, caso haja implantação de projetos de irrigação na bacia.

Tabela 1. Área cultivada na bacia do rio Tibaji no ano agrícola de 1998/1999.

Município	ID ¹	Estação Meteorológica	Milho (ha)	Soja (ha)	Feijão Seca (ha)	Feijão Norte (ha)	Feijão Sul (ha)
Primeiro de Maio	01	Ibiporã	400	16500	20	-----	-----
Sertaneja	02	Ibiporã	1200	23500	-----	-----	-----
Leópolis	03	Ibiporã	1800	17000	-----	-----	-----
Sertanópolis	04	Ibiporã	1200	25000	25	-----	-----
Rancho Alegre	05	Ibiporã	300	11000	170	-----	-----
Cambé	06	Londrina	7000	24000	-----	36	-----
Cornélio Procopio	07	Ibiporã	3700	18800	-----	30	-----
Ibiporã	08	Ibiporã	500	12000	-----	-----	-----
Uraí	09	Ibiporã	1000	9000	-----	-----	-----
Jataizinho	10	Ibiporã	500	5500	-----	1800	-----
Londrina	11	Londrina	13000	23500	320	200	-----
Rolândia	12	Londrina	6000	19000	-----	20	-----
Nova A. da Colina	13	Ibiporã	300	4500	-----	100	-----
Assaí	14	Ibiporã	1500	23000	-----	120	-----
Nova Fátima	15	Ibiporã	1500	7500	-----	100	-----
São S. Amoreira	16	Ibiporã	1000	9000	-----	70	-----
Arapongas	17	Apucarana	5800	15300	-----	200	-----
Apucarana	18	Apucarana	10400	8600	-----	870	-----
Congonhinhas	19	Ibiporã	800	6000	20	100	-----
S. A. do Paraíso	20	Ibiporã	500	6500	-----	30	-----
S. C. do Pavão	21	Ibiporã	1500	-----	-----	150	-----
S. J. Da Serra	22	Ibiporã	3000	6500	25	-----	-----
Nova S. Bárbara	23	Ibiporã	500	4700	-----	40	-----
Marilândia do Sul	24	Apucarana	8000	11000	-----	280	-----
Califórnia	25	Apucarana	5200	210	-----	450	-----
Sapopema	26	Telêmaco	4500	-----	75	1140	-----
Ortigueira	27	Telêmaco	10800	3200	400	-----	3500
Mauá da Serra	28	Apucarana	1800	2300	-----	-----	80
Curiúva	29	Telêmaco	4000	650	330	-----	1800
Ventania	30	Telêmaco	6000	20000	500	-----	900
Telêmaco Borba	31	Telêmaco	280	-----	-----	-----	20
Piraí do Sul	32	Telêmaco	8800	6500	2200	-----	2300
Reserva	33	Telêmaco	24000	2500	1200	-----	21000
Tibagi	34	Telêmaco	20100	45140	2500	-----	1575
Castro	35	P. Grossa	21000	42000	6800	-----	4000
Ipiranga	36	Teixeira	12000	9500	330	-----	700
Ponta Grossa	37	P. Grossa	17000	42000	1000	-----	3500
Ivaí	38	Teixeira	7000	2000	1200	-----	6300
Imbituva	39	Teixeira	8800	10700	1350	-----	3000
Teixeira Soares	40	Teixeira	6500	14000	400	-----	2800
Palmeira	41	P. Grossa	13000	32000	600	-----	2030
Irati	42	Teixeira	23000	3000	1800	-----	14000
Porto Amazonas	43	P. Grossa	1500	2000	100	-----	90

Fonte: Deral (2000).

¹ Correspondem à Fig. 1.

Modelos de Crescimento de Culturas

Os modelos CROPGRO e CERES são processos orientados e foram desenvolvidos para simularem o desenvolvimento e o crescimento de leguminosas e cereais, respectivamente. Simulam também os balanços de água e nitrogênio no sistema solo/planta/atmosfera. O modelo CROPGRO simula o rendimento para a soja, o feijão, o amendoim e o grão-de-bico (Boote et al., 1997; Hoogenboom et al., 1999). O modelo de crescimento CERES inclui simulações para o trigo, o milho, o arroz, o milheto, a cevada e o sorgo (Ritchie et al., 1998). O processo de desenvolvimento dos modelos utiliza informações diárias de dados climáticos históricos. Os modelos produzem resultados diários para o crescimento, o desenvolvimento e os balanços de água e nitrogênio nas culturas.

O módulo de balanço hídrico dos modelos do DSSAT descreve simplificadaamente os principais processos que afetam o conteúdo de água no perfil do solo, em passo de cálculo diário, e utiliza um conjunto mínimo de dados de entrada necessários à sua execução (Ritchie, 1998). O balanço hídrico é um modelo unidirecional e utiliza quatro equações para calcular as variações de armazenamento de água no solo (Jones e Ritchie, 1990; Hoogenboom et al., 1992; Ritchie, 1998), conforme a seguinte equação (1):

$$DS = P + I - EP - ES - R - D \quad (1)$$

em que DS representa a variação de armazenamento de água no solo, P corresponde à precipitação, obtido da estação meteorológica, I à irrigação, EP e ES são os valores simulados correspondentes à evaporação da planta e do solo, respectivamente, R é o escoamento superficial estimado e D é a drenagem, ambos também simulados pelo módulo. A água no solo é distribuída em várias camadas, no máximo 20, com as espessuras determinadas pelo usuário (Ritchie, 1985; Porter et al., 1998).

A infiltração da água no solo é calculada pela diferença entre a precipitação ou a irrigação e o escoamento superficial. O escoamento superficial é calculado pelo procedimento modificado do USDA-Soil Conservation Service (SCS, 1985), denominado “técnica do número da curva” (Williams et al., 1991).

A drenagem é calculada admitindo-se um valor fixo para a quantidade de água de um solo saturado e a capacidade de campo para uma determinada camada de solo. A água disponível no solo varia entre o ponto de murcha permanente e a capacidade de campo. Se a quantidade de água disponível em uma determinada camada do solo for

maior que o valor máximo da capacidade de campo, o excesso de água é drenado para a próxima camada utilizando-se o processo denominado “tipping bucket”, baseado no coeficiente de drenagem especificado no arquivo de dados de entrada do perfil do solo (Ritchie, 1985; Ritchie, 1998; Jones & Ritchie, 1990; Porter et al., 1998).

A evapotranspiração é baseada no processo descrito por Ritchie (1972). Esse processo separa a evaporação do solo da transpiração da planta. A evapotranspiração potencial é calculada usando a equação de Priestley-Taylor ou FAO24-Penman. A grande vantagem do método de Priestley-Taylor (1972) para se calcular a evapotranspiração potencial é que os dados de entrada são somente os valores diários de radiação solar, temperaturas máxima e mínima e o valor do albedo do solo. Esse método foi classificado por Jensen et al. (1990) como um dos cinco melhores para a determinação da evapotranspiração potencial em regiões úmidas. A evaporação do solo é dada em função da quantidade de água disponível na camada superficial do solo e energia que alcança a sua superfície, que é proporcional ao índice de área foliar e ao albedo do solo.

A taxa de extração de água pela raiz é calculada usando-se a aproximação “law of the limiting”. Nessa aproximação, a resistência das raízes determina a taxa de fluxo de água para estas. Se as raízes são incapazes de extrair a quantidade de água perdida por transpiração em razão da alta resistência ao fluxo no solo e/ou baixa quantidade de água disponível no solo em uma ou mais camadas, a transpiração é reduzida proporcionalmente. Quando ocorre o estresse hídrico na planta, são introduzidos fatores que reduzem a fotossíntese, a expansão do crescimento e o aumento da partição da biomassa para as raízes (Hoogenboom et al., 1992). A profundidade do perfil de solo, o ponto de murcha permanente, a densidade de raízes no perfil do solo, a quantidade de água no solo saturado e as variações na quantidade de água armazenada no solo (DS) são utilizadas como dados de entrada no modelo.

Nos modelos do DSSAT, para culturas em condições de solos não-saturados, somente os movimentos de nitrato e de uréia são simulados por meio das camadas de solo. O movimento da amônia não é considerado. A fração de nitrato e de uréia em cada camada de solo move-se em função dos eventos de drenagem ocorridos no perfil do solo. Para a movimentação de nitrato e de uréia, entre as camadas do solo, é considerado o método denominado “tipping bucket”, onde o nitrogênio perdido em uma determinada camada de solo é adicionado à camada seguinte. Processo semelhante é utilizado para simular o movimento de nitrato e de uréia, das camadas inferiores do perfil do solo, pela evaporação da água na camada superficial (Godwin & Singh, 1998).

Condições Locais

Clima

As informações climáticas necessárias aos modelos CROPGRO e CERES foram obtidas de seis estações meteorológicas do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), localizadas na bacia do rio Tibagi. Essa região tem um clima subtropical úmido. Os parâmetros climáticos que foram avaliados incluem 20 anos de dados climáticos (1978 – 1997) para as temperaturas máxima e mínima diárias, radiação solar e precipitação. A Tabela 2 mostra a respectiva latitude, longitude e altitude de cada estação meteorológica e a Fig. 2 ilustra a disposição das estações meteorológicas na bacia do rio Tibagi.

Tabela 2. Descrições das estações meteorológicas.

Estações Meteorológicas	Localização	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Apucarana	Apucarana	-23,50	-51,53	746
Ibiporã	Ibiporã	-23,27	-51,02	484
Londrina	Londrina	-23,30	-51,15	603
P. Grossa	Ponta Grossa	-25,22	-50,02	880
Telêmaco	Telêmaco Borba	-24,33	-50,62	768
Teixeira	Teixeira Soares	-25,45	-50,58	810



Fig. 2. Estações climáticas e suas regiões na bacia do rio Tibagi.

Cada estação meteorológica na bacia do rio Tibagi abrange uma área que foi determinada utilizando-se o método denominado polígono de Thiessen (ou Dirichlet). O polígono de Thiessen é um dos métodos mais simples de interpolação, em que os polígonos são desenhados de acordo com a distribuição dos pontos utilizados como amostragem. Essa técnica determina os atributos dos pontos que não fazem parte da amostragem, baseando-se nos pontos mais próximos da amostra. Esse método é o mais recomendado para dados qualitativos, para os quais outros métodos de interpolação não são aceitáveis (Hartkamp et al., 1999b).

Solo

O mapa do solo e as características dos perfis do solo para a bacia do rio Tibagi foram obtidos da EMBRAPA (1984, 1986), FAO (1997) e Lantmann et al. (1997). O mapa foi digitalizado e os solos foram agrupados em sete principais tipos, cuja distribuição é ilustrada na Fig. 3. Os parâmetros físico-hídricos para as duas camadas iniciais são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Área e parâmetros das duas primeiras camadas de perfil do solo da bacia do rio Tibagi.

Nome do Solo	Área (%)	Profundidade (cm)	Parâmetros				
			SLL (cm³ cm⁻³)	SDUL (cm³ cm⁻³)	SSAT (cm³ cm⁻³)	SBDM (g cm⁻³)	SRGF
Cambissolo	17,81	0-20	0,294	0,389	0,519	1,34	1,00
		20-40	0,386	0,443	0,497	1,37	0,53
Latossolo roxo	24,07	0-10	0,200	0,351	0,430	1,10	1,00
		10-25	0,271	0,381	0,430	1,00	0,25
Latossolo vermelho escuro	26,78	0-18	0,327	0,529	0,538	1,00	1,00
		18-49	0,350	0,574	0,594	1,00	0,50
Latossolo vermelho álico	3,24	0-19	0,240	0,354	0,369	1,00	1,00
		19-31	0,271	0,385	0,400	1,00	0,50
Latossolo distrófico	19,21	0-20	0,369	0,464	0,540	1,27	1,00
		20-40	0,395	0,511	0,601	1,11	0,53
Latossolo eutrófico	0,09	0-24	0,365	0,485	0,500	1,00	1,00
		24-50	0,391	0,507	0,522	1,00	0,50
Podzólico	8,80	0-20	0,166	0,319	0,420	1,48	1,00
		20-40	0,154	0,287	0,377	1,61	0,53

SLL - Ponto de murcha permanente
SDUL - Capacidade de campo
SSAT - Quantidade de água armazenada em um solo saturado
SBDM - Densidade do solo
SRGF - Fator de crescimento de raiz

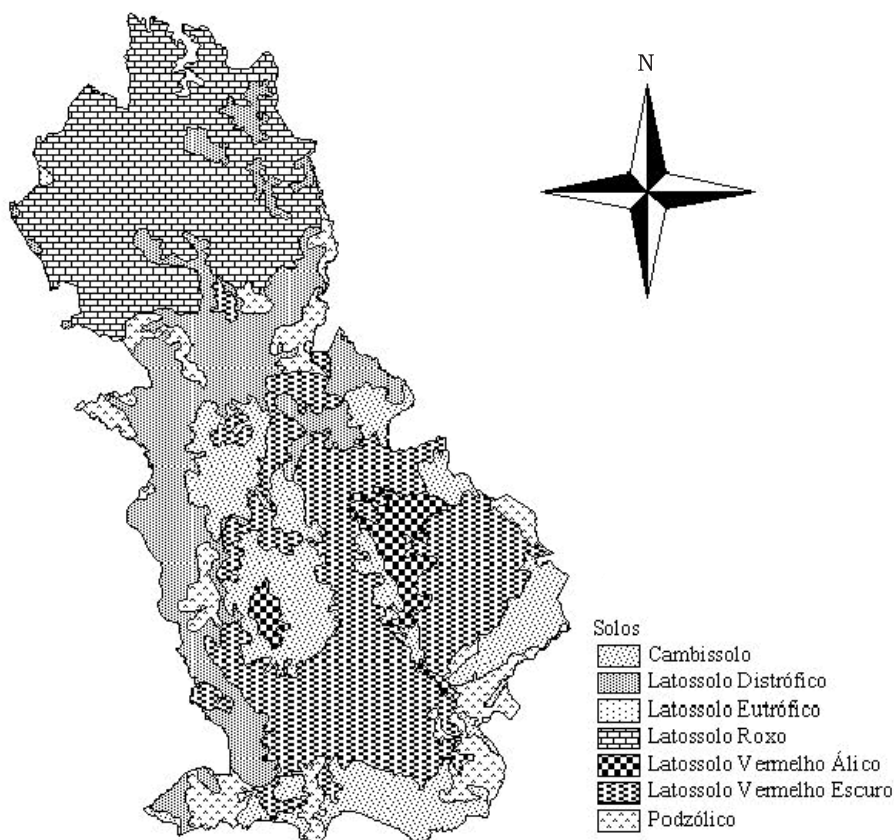


Fig. 3. Distribuição dos solos na bacia do rio Tibagi.

Práticas culturais

Na Tabela 4 apresentam-se as práticas culturais assumidas nas simulações, correspondentes à parte dos dados de entrada para a execução dos modelos. Consideraram-se aplicações de fertilizantes somente para as culturas do milho e do feijão, seguindo-se as recomendações do IAPAR. Para o milho, foram consideradas aplicações de 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio na semeadura e 60 kg ha⁻¹ aos trinta dias após a semeadura (IAPAR, 1991). Para o feijão, consideraram-se aplicações de 10 kg ha⁻¹ de nitrogênio na semeadura e 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio aos trinta dias após a semeadura (IAPAR, 1989).

Tabela 4. Dados de práticas culturais utilizadas como dados de entrada nos modelos.

Cultura	Data de semeadura	População (plantas m⁻²)	Espaçamento (m)
Milho	15 de Outubro	5,5	0,90
Soja	10 de Novembro	40	0,40
Feijão Inverno	10 de Janeiro	24	0,50
Feijão Norte	26 de Agosto	24	0,50
Feijão Sul	30 de Setembro	24	0,50

Coefficientes genéticos

Neste estudo, os coeficientes genéticos utilizados para o feijão comum representam uma cultivar comumente utilizada na região (IAPAR 57). Esses coeficientes genéticos foram calibrados para a região de Londrina, Estado do Paraná, por Faria et al. (1997). Para a soja, as cultivares mais semeadas no Paraná são de ciclo precoce (Queiroz et al., 1998), que representam quase 90% da soja cultivada, com maturidade variando entre 110 e 115 dias após a semeadura (Alliprandini et al., 1998). Os coeficientes genéticos do banco de dados do modelo CROPGRO que melhor descrevem as cultivares de ciclo precoce são os pertencentes ao Grupo Maturidade VI. Para o milho, as cultivares mais comumente cultivadas na região são as de ciclo médio, ocorrendo o florescimento geralmente aos 65 dias após a semeadura (Tommaselli e Villa Nova, 1995). Os coeficientes genéticos de ciclo médio fornecidos no banco de dados do modelo CERES-Maize foram utilizados como referência. As datas de florescimento e de maturação simuladas mostraram uma boa correspondência com os dados observados em campo (DERAL, 2000). Entretanto, os dados simulados de produtividade superestimaram os dados observados de produtividade por município para todas as regiões da bacia do rio Tibagi. Portanto, realizou-se uma calibração mudando somente os coeficientes genéticos G2 (número de grãos por espiga) e G3 (taxa de crescimento da espiga) utilizados pelo modelo de crescimento. O arquivo "Gcrules.fle" do programa GENCALC (Hunt et al., 1993) foi modificado e o objetivo para os coeficientes G2 e G3 foi fixado na produtividade, ao invés do número de grãos por m² e massa do grão. Três anos de dados climáticos históricos (1995, 1996 e 1997) foram utilizados para executar o programa GENCALC. Com isso, seis diferentes cultivares de milho foram obtidas, uma para cada região, utilizando a média dos coeficientes genéticos (G2 e G3). Essas cultivares foram utilizadas para executarem as simulações do modelo de crescimento CERES-Maize. A Fig. 4 ilustra os rendimentos simulados e observados para cada região.

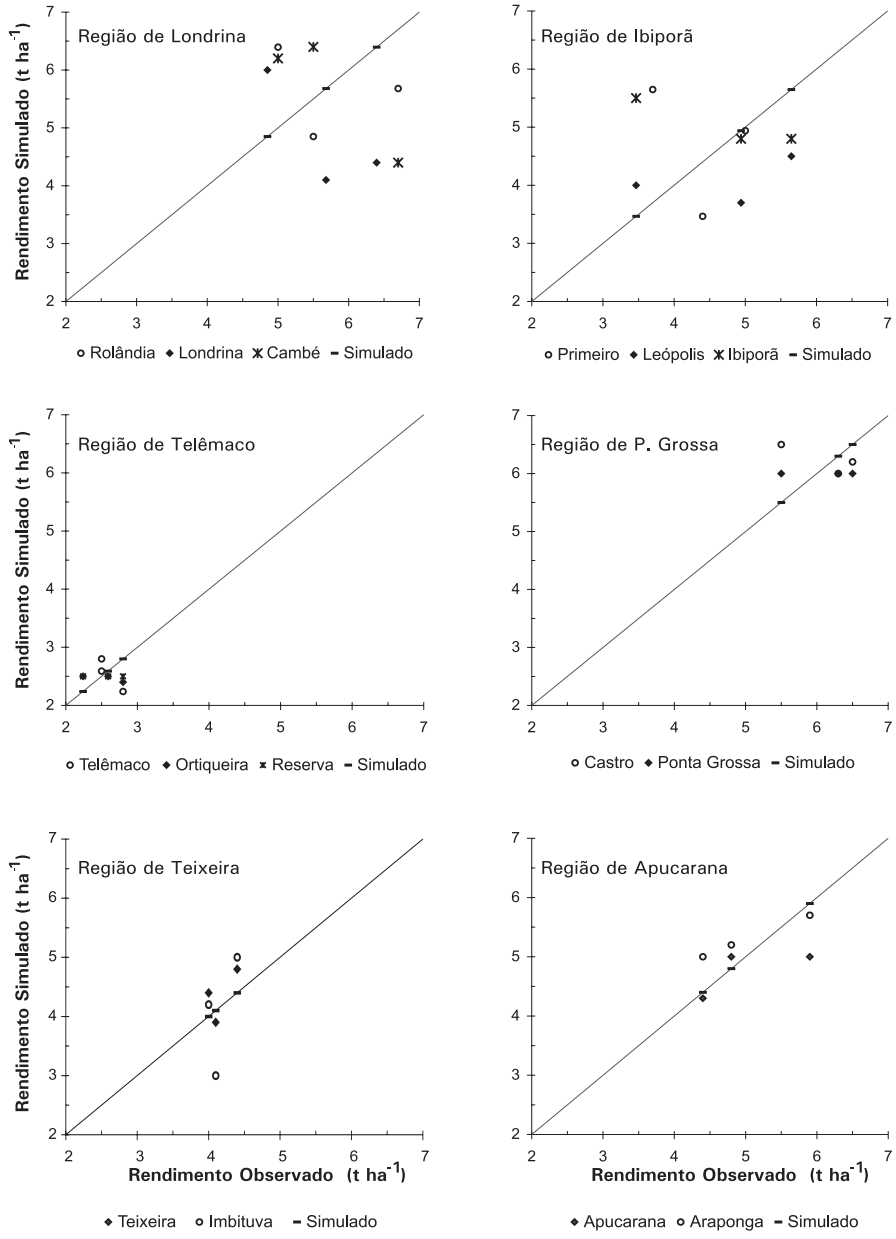


Fig. 4. Rendimentos de milho simulados e observados nos municípios da bacia do rio Tibagi para os anos agrícolas de 1995, 1996 e 1997.

Estratégia de irrigação

Para o feijão e a soja o controle do manejo de irrigação foi estabelecido para os primeiros 30 cm do perfil do solo, sendo aplicadas irrigações sempre que a fração da capacidade de água disponível, CAD, existente no solo, atingiu 50%. Para cada período simulado, quando a água disponível no solo reduziu de 50% da CAD nos primeiros 30 cm do perfil do solo, a irrigação foi aplicada até a reposição de 90% da CAD. O modelo assume que a fração de 90% da CAD é alcançada no mesmo dia em que se realiza a irrigação. Para o milho, o controle da irrigação foi ajustado para os primeiros 60 cm do perfil do solo e também se adotou 50% da CAD como umidade crítica para se realizar irrigações.

No início de cada simulação, a umidade inicial do solo foi ajustada para a capacidade de campo. As simulações iniciaram-se na data de semeadura.

Necessidades hídricas

Para cada cultura estudada (milho, soja, feijão norte, feijão sul e feijão da seca) foi criado um mapa, sobrepondo-se os mapas do solo e dos municípios. Somente foram considerados os municípios da bacia do rio Tibaji nos quais as culturas foram plantadas durante o ano agrícola de 1998/1999. Os polígonos com o mesmo tipo de solo e sob influência da mesma estação meteorológica foram unidos em uma mesma estratégia. Cada ciclo das culturas foi simulado para 20 anos de dados climáticos e a média das necessidades hídricas para cada cultura foi analisada. Determinou-se o centro de cada polígono e fez-se uma interpolação para se obter os mapas de contorno para as necessidades hídricas das culturas. Esses mapas consideraram a variação espacial de solo e de clima. A interpolação foi realizada utilizando-se o método determinístico IDWA (Inverse Distance Weighted Average) pelo qual os valores estimados foram determinados pela combinação linear de valores conhecidos (em pontos de amostra) e o fator peso dos pontos mais próximos foram definidos estritamente em função da distância (Hartkamp et al., 1999b). O expoente da distância foi ajustado em 2. Quanto mais próximo de zero o expoente, mais o fator peso torna-se similar para todos os pontos (Isaaks et al., 1989). Muitos pesquisadores têm utilizado esse método para interpolar dados climáticos (Legates e Willmont, 1990; Stallings et al., 1992).

Água anual utilizada para a irrigação, escoamento superficial e nitrogênio lixiviado

Usou-se um fator de ponderação baseado na área de ocorrência de cada tipo de solo e na área cultivada para determinar a quantidade anual de água utilizada

para a irrigação, escoamento superficial e nitrogênio lixiviado em cada município estudado. A equação (2) representa o fator de ponderação usado para determinar a quantidade anual de água utilizada para a irrigação em cada município:

$$IR_{(i,a)} = \left(\frac{X_{(t,i)}}{Y_{(i)}} \times C_{(a,i)} \times I_{(t,a,i)} \right) \quad (2)$$

em que t representa o tipo de solo, i representa o município e a representa a cultura; IR é a quantidade de água utilizada para a irrigação em um determinado município i e cultura a , em m^3 ; X é a área de um determinado tipo de solo t em um determinado município i , em ha; Y é a área total do município i , em ha; C é a área cultivada com cultura a em um município i , em ha; I é a irrigação aplicada em um determinado tipo de solo t e município i para uma específica cultura a , em $m^3 \text{ ha}^{-1}$, obtida por meio dos modelos de crescimento.

A quantidade total de água utilizada anualmente na irrigação em cada município foi determinada pela soma das irrigações aplicadas em cada cultura (IR). O mesmo processo foi utilizado para determinar o escoamento superficial e o nitrogênio lixiviado para cada um dos municípios estudados. Determinou-se o centro de cada município e fez-se uma interpolação (IDWA) para determinar a distribuição espacial da quantidade de água usada para fins de irrigação, escoamento superficial anual e nitrogênio lixiviado no âmbito regional.

Resultados e Discussão

Necessidades Hídricas

Feijão norte

A lâmina de água máxima aplicada, determinada pelo modelo CROPGRO – Feijão, foi de 368 mm para a região de Ibiporã, para o solo Latossolo Distrófico em 1985. Para esse mesmo ano, a evapotranspiração do feijão foi de 412 mm, para um rendimento de 2.432 kg ha^{-1} . A lâmina mínima aplicada foi zero para a região de Telêmaco Borba nos anos de 1980, 1981, 1982, 1987 e 1997. Para os anos de 1980, 1981, 1982 e 1987, a lâmina foi zero devido aos danos ocasionados pela baixa temperatura. Em 1997, não houve necessidade de irrigar a cultura devido à alta precipitação (766 mm) durante o ciclo da cultura.

As necessidades hídricas para a cultura do Feijão Norte para a região são ilustradas na Figura 5a. As necessidades hídricas mínima, média e máxima para os 20 anos de simulação foram de 74, 165 e 228 mm, respectivamente, com um desvio padrão de 50 mm. Esses valores são próximos aos dados obtidos por Oliveira e Villa Nova (1996) para a Região de Londrina, de 150 mm para o ciclo total da cultura, utilizando-se evapotranspiração potencial e coeficiente de cultivo (Kc). Os rendimentos mínimo, médio e máximo foram de 2.501, 3.288 e 4.053 kg ha⁻¹, respectivamente, com um desvio padrão de 495 kg ha⁻¹.



Fig. 5a. Municípios que cultivam Feijão Norte na bacia do rio Tibagi.

Feijão Sul

A lâmina máxima aplicada foi de 322 mm para a Região de Telêmaco Borba, para o Latossolo Vermelho Álico, em 1985. A evapotranspiração e o rendimento da cultura foram de 440 mm e 4.527 kg ha⁻¹, respectivamente. A lâmina mínima aplicada foi zero, em 1982, para a Região de Telêmaco Borba e Ponta Grossa devido aos danos ocasionados à cultura pela baixa temperatura. As necessidades hídricas para o Feijão Sul são ilustradas na Figura 5b. As necessidades hídricas mínima, média e máxima para a região foram de 73, 137 e 204 mm, respectivamente, com um desvio-padrão de 39 mm. Oliveira e Villa Nova (1996) obtiveram uma lâmina de 125 mm para o ciclo da cultura, para 75% dos anos analisados em Ponta Grossa. Os rendimentos mínimo, médio e máximo foram de 1.325, 3.432 e 4.250 kg ha⁻¹, respectivamente, com um desvio-padrão de 1.084kg ha⁻¹.



Fig. 5b. Municípios que cultivam feijão sul na bacia do rio Tibagi.

Feijão Seca

A lâmina máxima aplicada foi de 266 mm para o solo Podzólico, na Região de Londrina, em 1978. A evapotranspiração e o rendimento foram de 374 mm e 3.871 kg ha^{-1} , respectivamente. A lâmina mínima aplicada foi zero em alguns anos para quase todas as regiões devido à alta precipitação ocorrida durante os ciclos da cultura. As necessidades hídricas do feijão para a região são ilustradas na Figura 5c. As necessidades hídricas mínima, média e máxima para a região foram de 49, 108 e 170 mm, respectivamente, com um desvio-padrão de 34 mm. Os rendimentos mínimo, médio e máximo foram de 1.038, 2.918 e 3.751 kg ha^{-1} , respectivamente, com um desvio-padrão de 920 kg ha^{-1} .

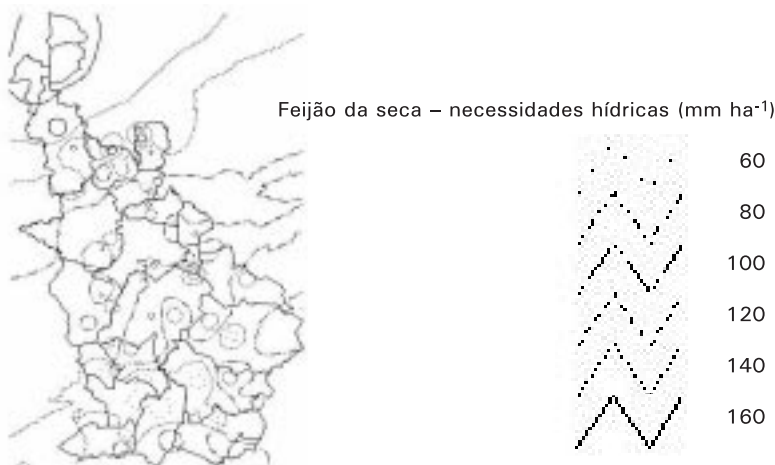


Fig. 5c. Municípios que cultivam feijão da seca na bacia do rio Tibagi.

Soja

A lâmina máxima aplicada foi de 355 mm para a Região de Telêmaco Borba, para o Cambissolo, em 1978. A evapotranspiração e o rendimento foram de 596 mm e 2.958 kg/ha⁻¹, respectivamente. A lâmina mínima foi zero em alguns anos para toda a região devido à alta precipitação ocorrida durante os ciclos da cultura. As necessidades hídricas para a região são ilustradas na Figura 5d. As necessidades hídricas mínima, média e máxima foram de 47, 137 e 218 mm, respectivamente, com um desvio-padrão de 48 mm. Os rendimentos mínimo, médio e máximo foram de 1.006, 3.861 e 4.809 kg ha⁻¹, respectivamente, com um desvio padrão de 1.146 kg ha⁻¹.

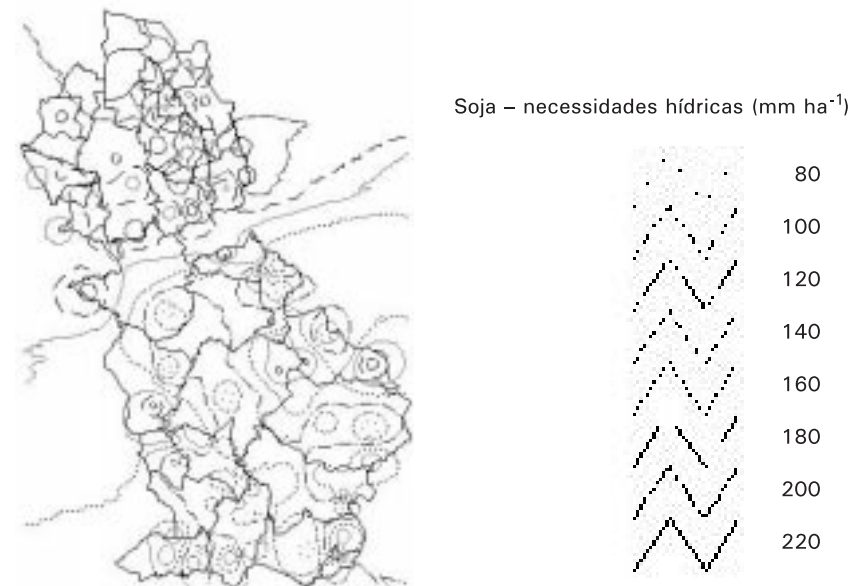


Fig. 5d. Municípios que cultivam soja na bacia do rio Tibagi.

Milho

A lâmina máxima aplicada foi de 351 mm para a Região de Londrina, para o Podzólico, no ano de 1985. A evapotranspiração da cultura e o rendimento foram de 494 mm e 7.728 kg ha⁻¹, respectivamente. A lâmina mínima de irrigação foi zero para alguns anos para toda a região devido à alta taxa de precipitação ocorrida durante o ciclo da cultura. As necessidades hídricas para a cultura do milho são ilustradas na Figura 5e. As necessidades hídricas mínima, média e máxima foram 71, 148 e 202 mm, respectivamente, com um desvio-padrão de 35 mm. Os rendimentos mínimo, médio e máximo foram de 2.097, 5.138 e 7.022 kg ha⁻¹, respectivamente, com um desvio padrão de 1.660 kg ha⁻¹.



Fig. 5e. Municípios que cultivam milho na bacia do rio Tibaji.

Regionalização dos Resultados

Utilização da água para a irrigação

O município que mais utilizou água para fins de irrigação foi o de Reserva, representando o uso de 22.969 m³ ano⁻¹. Nesse município foram cultivados 24.000 ha de milho, 2.500 ha de soja, 21.000 ha de Feijão Sul e 1.200 ha de Feijão da Seca. O milho foi o responsável pelo consumo de 98% da água utilizada para a irrigação. O município que menos utilizou água para a irrigação (236 m³ ano⁻¹) foi Telêmaco Borba. Nesse município foi cultivada somente a cultura do milho, responsável pelo consumo de toda a água. A quantidade média de água utilizada, para os 20 anos de dados climáticos analisados, foi 7.773 m³ ano⁻¹, com um desvio padrão de 4.351 m³ ano⁻¹. A distribuição espacial da utilização de água anual é ilustrada na Figura 6a.

Escoamento superficial

A quantidade máxima de escoamento superficial foi 31.152 m³ ano⁻¹, no Município de Reserva. As áreas cobertas com as culturas do milho e do Feijão Sul foram responsáveis por 91 e 8% do escoamento superficial anual, respectivamente. O escoamento superficial anual mínimo foi 321 m³ ano⁻¹ em Telêmaco Borba, sendo a área coberta pela cultura do milho a responsável por 100% do escoamento. O escoamento superficial anual médio foi de 6.455 m³ ano⁻¹, com um desvio-padrão de 6.531 m³ ano⁻¹. A distribuição espacial do escoamento

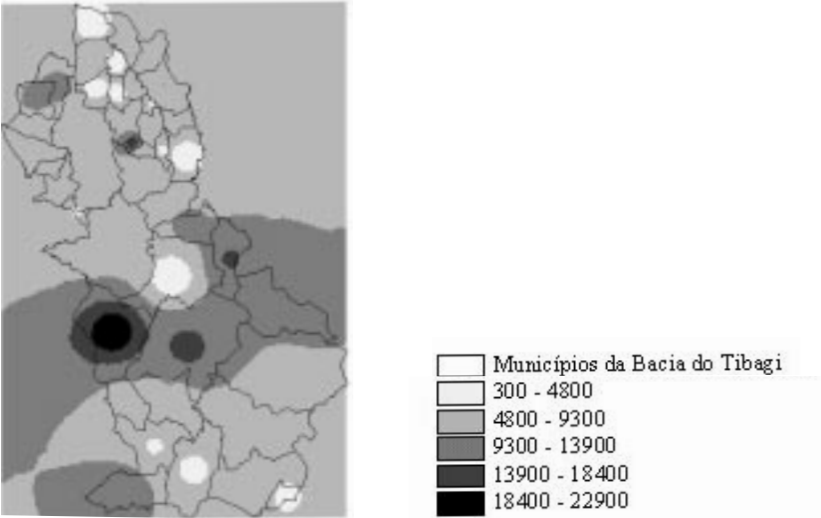


Fig. 6 a. Água requerida para irrigação ($m^3 \text{ ano}^{-1}$) nos municípios da bacia do rio Tibagi.

superficial anual é ilustrada na Figura 6b e difere da distribuição espacial da retirada anual de água para a irrigação. Isso ocorre devido à alta precipitação em alguns anos e maior intensidade do uso da terra no sul da bacia do rio Tibagi.

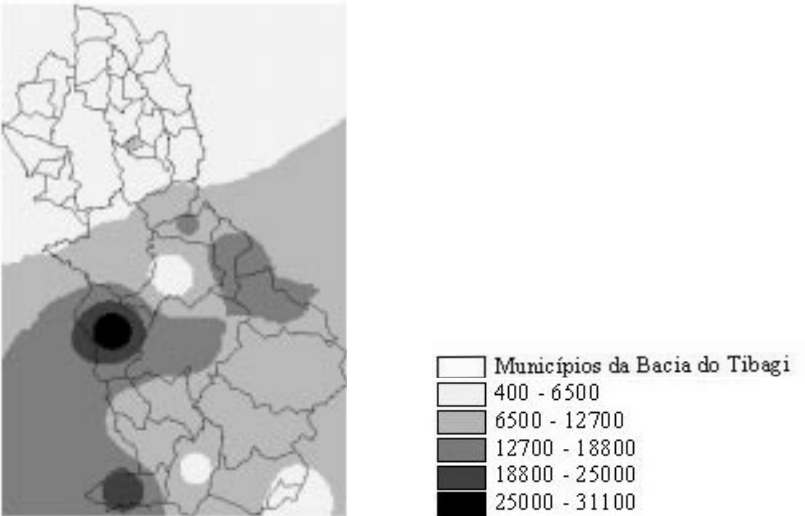


Fig. 6 b. Municípios da bacia do rio Tibagi. Escoamento superficial ($m^3 \text{ ano}^{-1}$).

Nitrogênio lixiviado

A quantidade máxima anual de nitrogênio lixiviado foi 1.488 t ano⁻¹, no Município de Reserva. As áreas cobertas com as culturas do milho e do Feijão Sul foram responsáveis por 91 e 7,5% do nitrogênio lixiviado, respectivamente. A quantidade mínima foi 14 t ano⁻¹ em Telêmaco Borba e a área coberta pela cultura do milho foi a responsável por 100% da lixiviação. A média anual de nitrogênio lixiviado foi 344 t ano⁻¹, com um desvio-padrão de 313 t ano⁻¹. A distribuição espacial para o nitrogênio lixiviado é ilustrada na Figura 6c, seguindo o mesmo padrão da distribuição espacial do escoamento superficial.

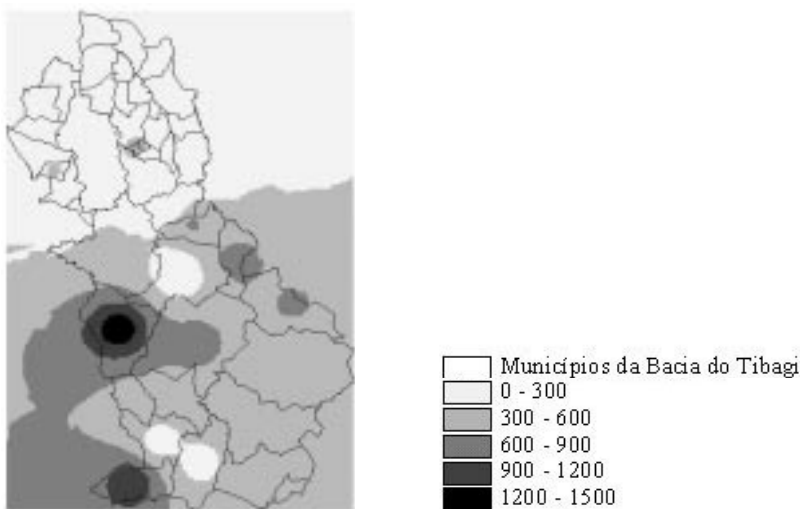


Fig. 6 c. Municípios da bacia do rio Tibagi. Nitrogênio lixiviado (t ano⁻¹).

Conclusões

Os resultados deste estudo foram bastante promissores, possibilitando concluir que:

- ♦ a região sul da bacia do rio Tibagi tem risco potencial mais elevado de erosão e contaminação de águas superficiais e subterrâneas devido ao maior escoamento superficial e lixiviação de nitrogênio;
- ♦ a recomendação de aplicação de nitrogênio para o milho deve ser reavaliada para a região sul da bacia do rio Tibagi devido à alta precipitação em alguns anos, favorecendo a lixiviação de nitrogênio;
- ♦ os modelos de simulação de crescimento de culturas combinados com o SIG podem ser uma importante ferramenta para os tomadores de decisões.

Referências Bibliográficas

ALEXANDROV, V.; HOOGENBOOM G. Crop water use as a function of climate variability in Georgia.. In.: HATCHER, K.J. (ed.). **Proceedings of the 1999 Georgia Water Resources Conference**. Institute of Ecology, Univ. of Georgia, Athens, GA, p. 425-428, 1999.

BEINROTH; F.H; JONES J.W.; KNAPP E.B.; PAPAJOJGI P.; LUIJTEN J. Evaluation of land resources using crop models and a GIS. p. 293-311. In.: TSUJI, G.Y.; HOOGENBOOM G. e THORNTON P.K. (eds.) **Understanding options for agricultural production**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 293-311, 1998.

BOOTE, K.J.; JONES J.W.; HOOGENBOOM G. Simulation of crop growth- CROPGRO Model. In.: PEART, R.M. e CURRY R.B. (eds.) **Agricultural systems modeling**, Marcel Dekker, New York, NY, p.651-692, 1997.

BURMAN, R.D.; CUENCA R.H.; WEISS A. Techniques for estimating irrigation water requirements. In.: HILLEL, D. (ed.) **Advances in irrigation, vol. 2**, p. 335-394, 1983.

DERAL. **Levantamento da produção agrícola municipal: 1995 a 1998**. Departamento de Economia Rural. Secretaria do Abastecimento do Estado do Paraná, Brasil. 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba: Embrapa-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. v.1. 414p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Guia para identificação dos principais solos do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro, 1986. 36p.

ENGEL, T.; HOOGENBOOM G.; JONES J.W.; P.W. WIKENS. AEGIS/WIN: A computer program for the application of crop simulation models across geographic areas. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, p.919-928, 1997.

ENGEL, T.; JONES J.W.; HOOGENBOOM G.; WIKENS P.W. Agricultural and environmental geographic information system for windows. In.: HOOGENBOOM G.; WILKENS P.W.; TSUJI G.Y. (eds.) **DSSAT version 3, vol. 4**, Honolulu, HI: University of Hawaii, p. 111-158, 1999.

Environmental System Research Institute (ESRI). **Introduction to ArcView GIS**. ESRI, Redlands, CA, 420 p. 1998.

FAO. **Water for life**. World Food Day 1994, Rome, Italy, 1994.

FAO. **Land and water digital media series**. Rome, Italy, 1997.

FARIA, R.T. de; OLIVEIRA D. de; FOLEGATTI M.V. Simulação da fenologia e produção do feijoeiro pelo modelo BEANGRO. In.: **X Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Piracicaba, S.P., Brasil, 1997. p. 140-142

FEE, R. Brazilian farmers converting pasture to soybeans. **Successful Farming** (Iowa Edition), v. 96, n.10, 1998, p. 44B-44C.

GARRISON, M.V.; BATCHELOR W.D.; KANWAR R.S.; RITCHIE J.T. Evaluation of the CERES-Maize water and nitrogen balances under tile-drained conditions. **Agricultural Systems**, v.62, 1999. p. 189-200.

GEORGIEV, G.A.; HOOGENBOOM G.; RAGUPATHY K. Regional yield estimation using a linked geographic information system, crop growth models and a weather network.. In.: **Proc. Inst. Biol. Eng., 1st IBE Publ.**, Athens, GA. 1998. p. 135-145.

GODWIN, D.C.; SINGH. U. Nitrogen balance and crop response to nitrogen in upland and lowland cropping systems. In.: TSUJI, G.Y.; HOOGENBOOM G.; THORNTON P.K. (eds.) **Understanding options for agricultural production**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1998. p. 41-54.

HARTKAMP, A.D.; WHITE J.W.; HOOGENBOOM. G. Interfacing Geographic information systems with Agronomic Modeling: A Review. **Agron. J.**, v.91, 1999a. p. 761-772.

HARTKAMP, A.D; BEURS K. de; STEIN A.; WHITE J.W. **Interpolation techniques for climate variables**. NRG-GIS Series 99-01. Mexico, D.F.:CIMMYT. 1999b.

HEINEMANN; A.B; HOOGENBOOM G; CHOJNICKI, B. The impact of potential errors in rainfall observation on the simulation of crop growth, development and yield. **Ecological Modelling**. 157. 2002, p. 1-21.

HEINEMANN; A.B.; HOOGENBOOM G.; GEORGIEV G.A.; FARIA, R.T.; FRIZZONE, J.A.. Center Pivot Irrigation Management Optimization of Dry Beans in Humid Areas. **Transactions of the ASAE**. vol. 43(6), 2001, p. 1507-1516.

HEINEMANN, A. B.; HOOGENBOOM G. Optimization of the capacity of center pivot irrigation systems based on dry bean model CROPGRO. **Bean Improvement Cooperative**, vol. 43, 2000. p.132-133.

HOOGENBOOM; G., JONES J.W.; BOOTE K.J. Modeling growth, development, and yield of grain legumes using SOYGRO, PNUTGRO, and BEANGRO: a review. **Transaction of the ASAE**, v.35, n.6, 1992. p. 2043-2056.

HOOGENBOOM, G.; WILKENS P.W.; THORNTON P.K.; JONES J.W.; HUNT L.A.; IMAMURA D.T. Decision Support System for Agrotechnology Transfer v.3.5. In.: HOOGENBOOM G.; WILKENS P.W.; TSUJI G. Y. (eds.) **DSSAT, v3, vol. 4**, University of Hawaii, Honolulu, Hi, vol.4.1, 1999, p. 2 - 36.

HOOK, J.E.; HARRISON K.A.; THOMAS D.L. **Analysis of water use by growers in Southwest Georgia. Report to SW Ga. Agribusiness Assoc. and Ga. Dept. of Nat. Resources**. NESPAL Rep. 98-01, Univ. of Georgia NESPAL, Tifton, GA. 1998.

IAPAR. **O feijão no Paraná**. Londrina: (IAPAR, Circular 63), Londrina, Paraná, 1989. 303 p.

IAPAR. **A cultura do milho no Paraná**. Londrina: (IAPAR, Circular 68), Londrina, Paraná, 1991. 271 p.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York, Oxford University Press. 1989, 561 p.

JAGTAP, S.S.; ABAMU F.J.; KLING J.G. Long-term assessment of nitrogen and variety technologies on attainable maize yields in Nigeria using CERES-maize. **Agricultural Systems**, v.60, p. 77-86, 1999.

JENSEN, M.E.; BURMAN R.D.; ALLEN R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice N^o. 70, 1990. 332 p.

JONES, J.W.; RITCHIE J.T. Crop growth models. In.: HOFFMAN G.J.; HOWELL T.A.; SOLOMON K.H. (eds.) **Management of farm irrigation systems**.. ASAE, St. Joseph, MI, 1990. p. 63-89.

LAL, H.; HOOGENBOOM G.; CALIXTE J.P.; JONES J.W.; BEINROTH F.H. Using crop simulation models and GIS for regional productivity analyses. **Transactions of the ASAE**, v.36, n.1, p. 175-184, 1993.

LANTMANN, A.F; OLIVEIRA M.C.N. de; ROESSING A.T.; SFREDO G.J. Productivity of wheat following now-fertilized soybean in a dystrophic dusky red latosol. **Pesquisa Agícola Brasileira**, Brasília, v.32, n.3, p. 257-265, 1997.

LEGATES, D.R.; WILLMONT C.J. Mean seasonal and spatial variability in global surface air temperature. **Theoretical Application in Climatology**. v.41, p. 11-21, 1990.

MACROBERT J.F.; SAVAGE M.J. The use of crop simulation model for planning wheat irrigation in Zimbabwe. In: TSUJI, G.Y.; HOOGENBOOM G.; THORNTON P.K. (eds.) **Understanding options for agricultural production**.. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 1998. p. 41-54.

MARACCHI, G.; PERARNAUD V.; KLESCHENKO A.D. Applications of geographic information systems and remote sensing in agrometeorology. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.103, p. 119-136, 2000.

OLIVEIRA, de D.; VILLA NOVA N. A. Maximum evapotranspiration and irrigation requeriments for beans (*Phaseolus vulgaris*, L) in Paraná State, Brasil. **Revist. Bras. de Agr.**, Santa Maria, v.4, n.1, p. 29-36, 1996.

PEREIRA, L.S.; PERRIER A.; ALLEN R.G.; ALVES I. Evapotranspiration: review of concepts and future trends. In: CAMP, C.R.; SADLER E.J.; YODER R.E. (eds.) **Evapotranspiration and irrigation scheduling Proc. Int. Conf., November 3-6, San Antonio, TX**, eds. ASAE, St. Joseph, MI. 1996, p. 109 – 117.

PORTER, C.H.; JONES J.W.; HOOGENBOOM G.; WILKENS P.W.; RITCHIE J.T.; PICKERING N.B.; BOOTE K.; BAER. B. **Modularization of Soil Water Balance (WATBAL)**, Draft. 1998.

PRIESTLEY, C.H.B.; R.J. TAYLOR. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, v.100, p. 81-92, 1972.

QUEIROZ, E. F.de; GAUDÊNCIO C. DE A., GARCIA A.; TORRES E., OLIVEIRA M. C. N. de. Effect of planting date on soybean yield in north of Paraná region, Brasil. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.33, n.9, p. 1461-1474, 1998.

RITCHIE, J. T. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. **Water Resour. Res.**, v.8, p. 1204-1213, 1972.

RITCHIE, J. T. A user-orientated model of the soil water balance in wheat. In: DAY, W.; ATKIN, R.K. (eds.) **Wheat Growth and Modeling**. New York, Plenum Publishing. 1985. p.293-305.

RITCHIE, J.T. Soil water balance and plant water stress. In.: TSUJI, G.Y., HOOGENBOOM G.; THORNTON P.K. (eds.) **Understanding options for agricultural production**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1998. p. 41-54.

RITCHIE, J.T.; SINGH U., GODWIN D.C.; BOWEN W.T. Cereal growth, development and yield. In.: TSUJI G.Y.; HOOGENBOOM G.; THORNTON P.K. (eds.) **Understanding options for agricultural production**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1998. p. 41-54.

SMITH M. The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.103, 2000. p. 99-108.

SOIL CONSERVATION SERVICE. **National Engineering handbook Section 4: Hidrology**, Soil Conservation Service, USDA, Washington. 1985.

SOUZA, V.; PEREIRA L.S.. Regional analysis of irrigation water requirements using kriging. Application to potato crop (*Solanum tuberosum* L.) at Tras-os-Montes. **Agricultural Water Management**, v.40, p. 221-233, 1999.

STALLINGS, HUFFMAN C. R. L.; KHORRAM S.; GUO Z. Linking Gleams and GIS. *ASAE Paper 92-3613*. ASAE, St. Joseph, MI. 1992.

TSUJI, G.Y.; UEHARA G.; BALAS S. (eds.). **DSSAT version 3**. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 1994.

WILLIAMS, J.R. Runoff and water erosion. In.: HANKS, R.J.; RITCHIE J.T. (Eds.) **Modeling plant and soil systems**. Agronomy monograph #31, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. 1991.

Zoneamento Agrícola. **Zoneamento Agrícola do Estado do Paraná, safra 98/99**. Corde-nação Nacional do Zoneamento Agrícola. Esplanada dos Ministérios, Brasília, Brasil. 2000.